

# Emissioner från bränder

## – Metoder, modeller och mätningar





# Hett forskningsområde

Räddningsverket är en statlig myndighet som verkar för ett säkrare samhälle. Målet är att skydda kvinnors, mäns och barns liv, säkerhet och hälsa mot olyckor samt att förhindra eller begränsa skador på egendom och miljö. Forskning är ett strategiskt viktigt medel för att nå det långsiktiga mål som uttrycks i Räddningsverkets vision: *”Ett helt liv i en värld med ständigt färre olyckor och skador”*.

Ett fält inom forskningsområdet som ägnas allt större uppmärksamhet är olyckors hälso- och miljöeffekter. Räddningsverket har ett särskilt sektorsansvar för miljömålsarbetet och har därmed intresse av att identifiera, kartlägga, förstå och föreslå åtgärder mot hälso- och miljöproblem som förorsakas av olyckor. Med forskningen som grund skapas förutsättningar för verket att tillhandahålla utbildning av hög kvalitet och att ge råd och stöd till de aktörer som är verksamma inom Räddningsverkets ansvarsområde.

Denna broschyr sammanfattar resultatet från ett treårigt forskningsprojekt som finansierats genom Räddningsverkets forskningsprogram. Projektet fokuserar på de emissioner som bildas vid bränder. Här visar vi olika brandscenarier och följer emissioner till luft, vatten och mark. Vi diskuterar också lämplig släcktaktik och den allmänna miljöpåverkan.

## Vilken skada orsakar bränder?

Traditionellt har bränder förknippats med förluster av liv och egendom samt kostnader på grund av produktionsavbrott, förlorade marknadsandelar med mera. På senare tid har även miljöproblemen i samband med bränder uppmärksammats. Emissionerna från en brand kan bestå av ett stort antal ämnen av olika karaktär och med olika hälso- och miljöeffekter. De flesta av dessa är sådana som bildas vid branden. Den höga temperaturen kan även leda till att befintliga ämnen i det brinnande materialet frigörs och sprids till den omgivande

miljön. Exempel på sådana ämnen är olika kemikalier som flamskyddsmedel, pesticider med mera.

## Emissioner och deras påverkan

Emissioner från bränder har negativa effekter både lokalt vid brandplatsen, i det geografiska närområdet samt regionalt och globalt, då produkter som har spridits till luften kan transporteras över stora avstånd.



Behovet av emissionsuppskattningar och kunskap om hur emissionerna sprids i luft, vatten och mark finns inom flera olika områden, till exempel för att kunna bedöma vilka ämnen och hur mycket av dessa som bildas från ett enskilt brandobjekt. Man vill även kunna uppskatta de totala emissionerna från bränder i en region eller i ett land. Det är också viktigt att i förväg kunna bedöma riskerna vid en eventuell brand vid regional planering av olika områden.

# Brandförsök

Här presenteras två brandförsök som sedan används i spridningsberäkningarna.

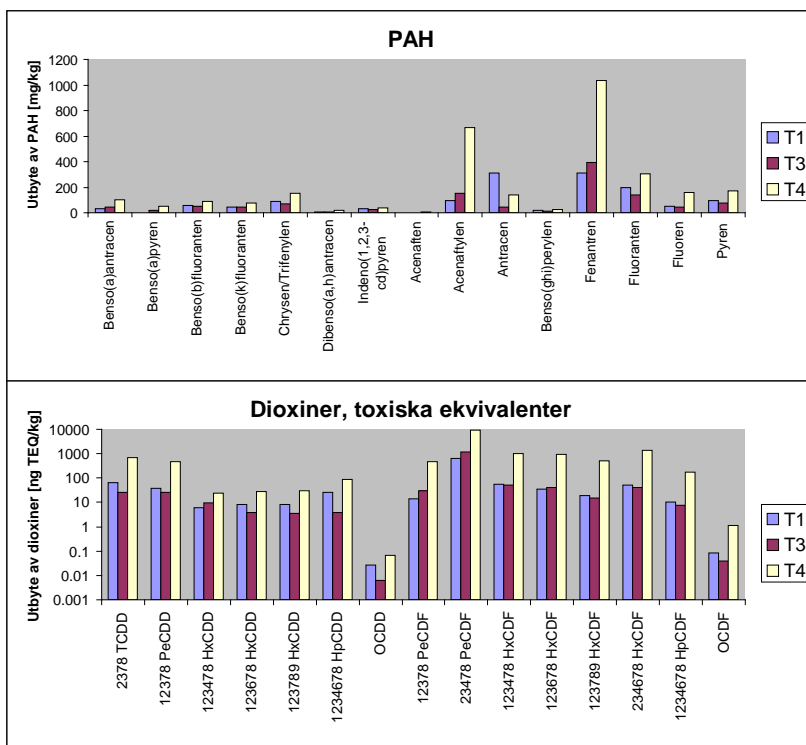


I båda brandförsöken användes 240 kg–250 kg elektronikskrot respektive bildäck som bränsle. Elektronikskrotet brändes i burar (se foto) medan bildäcken placerades antingen i en stor hög eller i fyra staplar. Brandförsöken genomfördes med och utan släckning. I samband med försöken analyserades brandgaserna, släckvattnet och brandresterna.

Brandgaserna analyserades med avseende på oorganiska gaser, flyktiga organiska ämnen (VOC), polycykliska aromatiska ämnen (PAH), polyklorerade dibenso-p-dioxiner/-furaner (PCDD/PCDF), partiklar och metaller. I försöken med elektronikskrot analyserades brandgaserna även med avseende på utvalda bromerade flamskyddsmedel och polybromerade dibensodioxiner/furaner (PCDD/PCDF).

I figurerna på nästa sida visas producerad mängd PAH i brandgaserna per mängd avbrunnen massa vid tre olika försök med elektronikskrot. I brandförsök T4 genomfördes släckning med vatten. Resultaten visar att producerad mängd PAH per mängd avbrunnen massa generellt sett blir större då branden vattenbegjuts. Resultat för analyser av släckvatten och brandrester redovisas i projektrapporterna.

Resultaten från brandförsöken har använts både vid utvecklingen av de emissionsmodeller som presenteras längre fram i denna sammanfattning och som indata till spridningsberäkningarna. De utvecklade emissionsmodellerna är baserade på de här nämnda försöken, på tidigare genomförda brandförsök samt på studerade bildningsmekanismer. Arbetet har visat att tillgången på syre i de flesta fall är den viktigaste parametern för vilka emissioner som bildas.



*Producerad mängd PAH i brandgaserna per mängd avbrunnen massa vid tre olika försök med elektronikskrot. Vid försök T4 genomfördes släckning med vatten.*

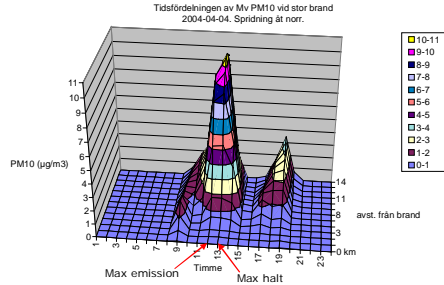
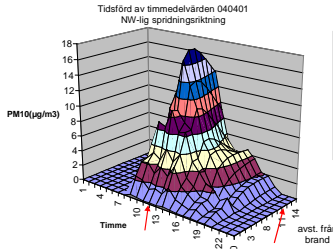
## Spridning i luft

Vid olyckor som inkluderar brand sker en spridning av olika typer av luftföroreningar. Spridningen av dessa föroreningar beror till största delen av vädret samt brandparametrar såsom brandgastemperatur och den uppåtriktade hastigheten i brandplymen. Både den regionala och den lokala meteorologin är viktig.

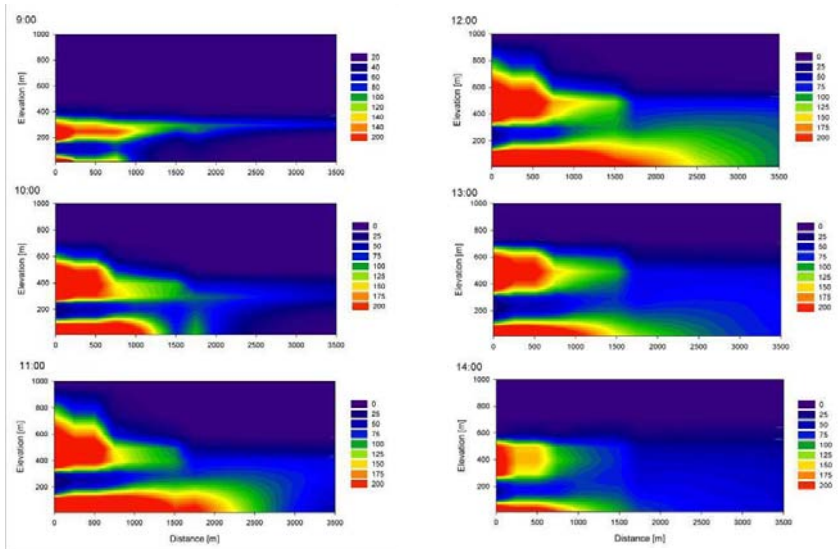
Utgående från brandförsöken ovan valdes några brandscenarier ut för att basera spridningsberäkningarna på. Två olika stora bildäcksbränder fungerade som exempel. Värden för utvecklad brandeffekt och totalt utvecklad energi baseras på de genomförda brandförsöken. Spridningssimuleringarna gjordes i en dalgång i inlandet.

Spridningsberäkningar genomfördes med den så kallade TAPM-modellen (The Air Pollution Model). Denna modell återspeglar den lokala spridningen av luftföroreningar på ett mycket bra sätt genom att hänsyn tas till lokalspecifika förutsättningar, samtidigt som det övergripande storskaliga väderläget är inkluderat. De genomförda beräkningarna för brandscenarierna har analyserats timvis i plymens riktning, i syfte att visa variationen i halter under olika tider och avstånd under brandförloppet under olika meteorologiska förhållanden.

Figurerna på nästa sida visar partikelkoncentrationen under två olika dagar i brandplymen 2 meter över marken som funktion både av tiden och av avståndet från branden. Skillnader i maxhalt och avståndet till plymnedslaget varierar mellan de olika dagarna. Den största skillnaden är dock de två topparna i den högra figuren. Anledningen till detta är kraftig nederbörd mellan kl. 14 och kl. 17 i det högra fallet.



Timvis haltfördelning av partiklar (PM10) på olika avstånd från branden. Maximala halter återfinns vid pilarna.



Vertikal timvis haltfördelning av partiklar (PM10) från spridningsberäkningarna.

Plymen från en stor brand kan nå höga höjder och transporteras långa sträckor. Samtidigt kan man ofta se lägre plymer i utkanten av branden. För att simulera detta fenomen genomfördes beräkningar där branden simulerades som en central huvudcylinder omgiven av en yttre ring av cylindrar. Det gav upphov till två plymer. Detta visas i figurerna ovan som illustrerar tidsutvecklingen av partikelhalterna



i luften. Vindriktningen var relativt konstant för den valda dagen. Vindhastigheten ökar med höjden till följd av minskande uppbrämning mot markytan.

Om det finns omgivande berg, till exempel som i det aktuella fallet i en dalgång, sker ytterligare uppbrämning nära marken. När plymerna når över en viss höjd (här ungefär 200 meter) blir därför utspädningen mer effektiv än nere i dalgången. Emissionerna i centrumplymen är ungefär fem gånger högre än den totala emissionen i kranplymen. Trots detta är skillnaden i haltnivåer liten. Huvudförklaringen till detta är förmodligen den mer effektiva spridningen av centrumplymen på grund av den högre hastigheten på hög nivå. Detta innebär att plymlyft, meteorologi och topologi har avgörande betydelse för hur långt plymen når, det vill säga inom vilket område människor kommer att påverkas.

## Jämförelse mellan olika spridningsberäkningsprogram

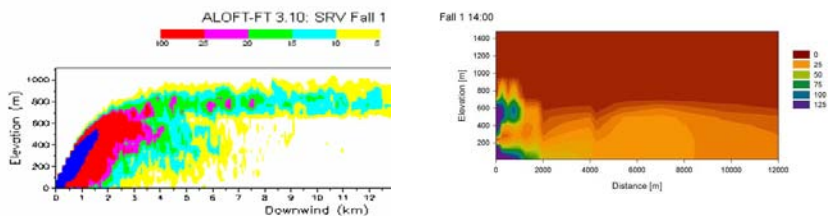
För att utvärdera användbarheten av olika spridningsberäkningsprogram har en jämförelse mellan resultat beräknade med verktygen TAPM (The Air Pollution Model) och ALOFT-FT (A Large Outdoor Fire plume Trajectory model – Flat Terrain) genomförts. ALOFT-FT är utvecklat under 1990-talet av NIST (National Institute of Standards and Technology, USA), ursprungligen för att simulera rökspridningen till atmosfären från brinnande oljeutsläpp.

ALOFT-FT modellerar spridningen av rökplymen genom att lösa grundläggande ekvationer för konservering och transport av massa, impuls och energi för ett område nedströms branden. Stora generaliseringar görs dock vad gäller meteorologin.

TAPM å andra sidan är en prognostisk modell utvecklad av CSIRO i Australien (motsvarande SMHI). I TAPM sker beräkningar av vindfältet och andra meteorologiska faktorer med timupplösning baserat på havstemperatur, topografi, markanvändning och storskaligt väder med mera för olika regioner. På detta sätt får man fram den mark-

nära, lokalspecifika meteorologin utan att behöva använda plats-specifika meteorologiska observationer.

Vid jämförelse av plymerna beräknade med de två modellerna (se nedan) ser man att haltnivåerna den närmaste kilometern från branden överensstämmer relativt väl i båda beräkningarna och är drygt 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Störst skillnad mellan de båda beräkningarna är dock att plymen beräknat i ALOFT-FT håller sig mer samlad och högre upp jämfört med den beräknad i TAPM. Betydelsen av meteorologi och topologi innebär att TAPM är att föredra om noggranna resultat behövs. Fördelen med ALOFT-FT är att den innehåller en brandmodell.



*Spridningsberäkningar genomförda med ALOFT-FT (till vänster) och TAMP (till höger) visar partikelkoncentrationen 0-12km från branden.*

## Spridning i vatten och mark

I vilken utsträckning en förorening sprids i mark och grundvatten beror på egenskaperna hos det geologiska mediet, till exempel porositet och hydraulisk konduktivitet (genomsläpplighet). Föroreningens egenskaper har också betydelse för spridningen, till exempel dess sorptionsförmåga (vidhäftning eller uppsugning), om den är hydrofil (vattentrogen) eller hydrofob (vattenavstötande) samt föroreningens nedbrytbarhet (kemisk och biologisk) och så vidare.

Förorenat släckvattnet kan avrinna direkt som ytvatten till en recipient (ytvattendrag/sjö) men en del av vattnet infiltrerar längs transportsträckan och bidrar till grundvattenbildningen. Föroreningar transporteras i grundvatten genom advektion, vilket innebär att en

löst förorening förflyttas med vattnets medelhastighet. Flertalet föroreningar rör sig dock långsammare än grundvattenflödet, framförallt beroende på sorption på jordpartiklarna men också exempelvis på utfällning. Vattnets hastighet beror av ett områdes geologiska och geohydrologiska förutsättningar. Det beskrivs av topografi, berggrund, jordart och om det är en öppen eller sluten grundvattenförekomst.

Beräkningar med GMS-koder (Ground Water Modeling), som till exempel Modflow, har utförts för att beskriva hur relativt stora bränder kan påverka föroreningsförekomst inom ett större område samt hur olika scenarier för vattenuttag i området kan påverka föroreningsbeteendet. Simuleringar av detta slag kan användas för en grov uppskattning av transporttiden mellan föroreningskälla och potentiell recipient och testa hur lokala förändringar av hydrogeologiska förhållanden, till exempel olika brunnsuttag, inverkar på haltförändringar för en tänkt recipient. Transportmodellen Bioscreen har använts för att beräkna halten i marken vid en viss tidpunkt efter utsläppet. Beräkningarna tyder på att spridning och utspädning i marken är liten. Utsläpp av särskilt giftiga ämnen och utsläpp i känsliga miljöer kan emellertid medföra stora negativa miljökonsekvenser.

## Slutsatser

En viktig del av arbetet har varit att studera de olika moment som är viktiga för uppskattningen av emissionerna från en brand och hur dessa emissioner sprids. De moment som har inkluderats är framtagande av brandscenario, studier av brandplymen nära brandkällan, utveckling av emissionsmodeller, samt beräkningar av spridning av emissioner i luft, mark och vatten. Den metodik som har använts i detta projekt lämpar sig bäst för det förebyggande arbetet mot olyckor hos kommuner och verksamhetsutövare, eftersom flera av de använda modellerna är tids- och resurskrävande. Förhoppningen är dock att kunskap baserad på resultaten från arbetet ska kunna användas även i det akuta skedet vid en brand. Målet är också att arbeta

vidare med resultaten och modellerna så att en enklare och snabbare modell kan utvecklas. Några slutsatser från de olika delarna i projektet listas nedan:

- Släckning med vatten ökar utbytet (mängd bildat ämne per mängd avbrunnen massa) av flera olika ämnen, till exempel VOC och PAH.
- Skuminblandning i släckvattnet ökade halten av VOC, PAH och dioxiner i vattnet.
- Ventilationsgraden (syretillgången) är den parameter som verkar ha störst betydelse för utbytet av olika emissioner.
- Olika meteorologiska förhållanden har stor betydelse för spridningen av emissioner i luft.
- Simuleringsförhållandena i mark är komplexa och platsspecifika.
- Utspädningen i marken går mycket långsammare än i ytvattnet och mycket av emissionerna stannar kvar nära källan eller nedfallsstället.
- Den ökade mellanlagringen före återvinning innebär ökade risker. Dessa risker och hur man bör agera vid en aktuell brand i dessa lager bör studeras ytterligare både generellt och i de enskilda fallen.

# Mer information

## Projektgrupp

SP Brandteknik (projektledare): Anders Lönnermark, Margaret Simonson, Per Blomqvist, Jesper Axelsson och Tommy Hertzberg

IVL Svenska Miljöinstitutet: Håkan Stripplé, Marie Haeger-Eugensson och Anna Palm Cousins

Statens geotekniska institut (SGI): Bengt Rosén, Yvonne Andersson-Sköld och Peter Starzec

Södertörns Brandförsvarsförbund: Patrik Åhnberg

## För ytterligare information kontakta

Anders Lönnermark, SP (010 -516 56 91) eller  
Cecilia Alfredsson, Räddningsverket (054-13 50 82).

## Projektrapporter

Mer detaljerad information finns i de rapporter som publicerats inom ramen för projektet. Rapporterna finns tillgängliga på Räddningsverkets hemsida [www.raddningsverket.se/forskning](http://www.raddningsverket.se/forskning).

## **Emissioner från bränder – Metoder, modeller och mätningar**

I huvudrapporten för projektet beskrivs metoden, utvalda brand- och spridningsscenarier samt länkar mellan de olika delarna inom projektet. I rapporten sammanfattas arbetet och vissa detaljer kring brandförsök och modelleringar återges. Dessutom sammanfattas de viktigaste slutsatserna från projektet. (Räddningsverket, P20-470/07, Karlstad, 2007)

## **Delrapporter**

### **Modellering av emissioner från bränder**

Rapporten beskriver bildningsmekanismer för olika ämnen vid förbränning. Uppskattade och uppmätta emissioner av olika ämnesgrupper från olika typer av bränder presenteras och diskuteras. Rapporten tar även upp hur ventilation och temperatur påverkar emissionerna samt hur andra parametrar inverkar på bildandet av emissioner. (SP Rapport 2006:53, Borås, 2006)

### **Emissions from Fires in Electrical and Electronic Waste**

Rapporten beskriver fyra brandförsök som gjorts på bränder i elektrisk och elektronisk utrustning. Både brandgaserna och släckvattnet analyserades. Rapporten innehåller resultaten från dessa analyser. (SP REPORT 2005:42, Borås, 2005)

### **Emissions from Tyre Fires**

Rapporten beskriver fyra brandförsök som gjorts på bränder i bildäck. Däcken placerades i två olika uppställningar. I ett av försöken blandades skumvätska i vattnet. Både brandgaserna och släckvattnet analyserades. Rapporten innehåller resultaten från dessa analyser. (SP REPORT 2005:43, Borås, 2005)

### **Analysis of Fire Debris after Tyre Fires and Fires in Electrical and Electronics Waste**

I denna rapport presenteras analyser av brandrester från brandförsöken med bildäck respektive elektrisk och elektronisk utrustning. Rapporten innehåller resultaten från dessa analyser. I vissa relevanta fall har resultaten jämförts med gränsvärden för förorenad mark. (SP REPORT 2005:44, Borås, 2005)

### **Emissioner från bränder – spridning till luft**

Rapporten beskriver meteorologins betydelse för spridning av emissioner från brandförsöken till luft. För få en bild av hur spridningen från bränder i olika geografiska lokaliseringar under olika delar av året skiljer sig, har spridningsberäkningar utförts med en modell som kan beräkna lokalspecifika typiska spridningsmönster för olika tillfällen (t.ex. årstider). (IVL rapport B-1702, Göteborg, 2006)

### **Emissioner från bränder – spridning till mark och vatten**

Rapporten beskriver hur emissionerna från brandförsöken sprids i mark och vatten. Olika modellverktyg redovisas. Särskilda beräkningar redovisas för att illustrera fördelningen ytvattenavrinning respektive grundvattenbildning i ett terrängavsnitt med olika lutning. En platsspecifik beräkning med en väl markerad dalgång som exempel redovisas. (Statens geotekniska institut, SGI Varia nr 568, Linköping, 2006.)

**Räddningsverket, 651 80 Karlstad**  
**Telefon 054-13 50 00, fax 054-13 56 00. [www.raddningsverket.se](http://www.raddningsverket.se)**

Beställningsnummer P20-483/07. Fax 054-13 56 05